

Grupo#3

de Grupo#3 Grupo#3

Data de envio: 03-ago-2021 02:55PM (UTC-0300)

Identificação do Envio: 1627392442

Nome do arquivo: Trabalho_1_Grupo_3_Relat_rio.pdf (415.37K)

Contagem de palavras: 1822

Contagem de caracteres: 10611

“Transformadores e Autotransformadores”

Felipe Lopes Del Petre, Guilherme Braga Malta, Rodrigo Dias Martins Siqueira

Resumo - O seguinte relatório aborda sucintamente o tema de Transformadores e Autotransformadores de potência, considerando o contexto de subestações.

Palavras-chave - Transformador, Autotransformador, Subestação, Equipamentos, Sistema de Potência.

I. Objetivo

Trazer avante assuntos relacionados ao projeto de transformadores e autotransformadores em subestações de transmissão e distribuição da energia elétrica. Especialmente caracterizando tais equipamentos, e fornecendo informações acerca do projeto como um todo.

II. Introdução

Uma forma de caracterizar o sistema elétrico interligado é por seus níveis de tensão. Tal classificação surge em um contexto de otimização na área de transmissão, distribuição e até mesmo uso final da energia elétrica. Ao passo que há diferentes níveis de tensão ao longo do sistema, as máquinas elétricas responsáveis por fornecer tais níveis de tensão são os transformadores de potência.

Os transformadores de potência são, portanto, elementos fundamentais para o sistema elétrico de forma geral e, pode-se atribuir um valor fundamental e central ao dispositivo. No contexto de subestações, boa parte dos demais equipamentos instalados servem de forma direta ou indireta para garantir o melhor desempenho do transformador de potência.

Neste relatório são apresentados os aspectos construtivos da máquina elétrica, bem como análises de suas configurações (chegando a análise de autotransformador), discutindo também aspectos de ensaios e a “rotina” que empresas especializadas possuem para gerir o transformador de potência, as normas e ensaios que padronizam a operação do equipamento em questão.

III. Aspectos Construtivos

A construção do transformador revela seu funcionamento de forma muito evidente. Os enrolamentos são responsáveis por gerar um fluxo magnético Φ , por meio de uma corrente de excitação, o fluxo percorre uma circuitação no núcleo ferromagnético excitando uma outra bobina com uma tensão induzida (pelas leis de Lenz e Faraday). Simplificadamente o processo descrito são os princípios de funcionamento do transformador, e, ao se analisar com mais detalhamento, observa-se que em cada uma das etapas há detalhes que merecem atenção.

Partindo do enrolamentos, destaca-se as perdas no próprio condutor (comumente chamadas de “perdas no cobre”), gerando, em termos de modelagem analítica uma impedância inerente à bobina ($R + jX$), seja para o lado de alta tensão, como para o lado de baixa tensão.

No núcleo há duas formas principais de perdas, seja por meio de correntes de indução no próprio “ferro”, as chamadas correntes parasitas (ou também, correntes de Foucault). Gerando a parcela resistiva da impedância de perdas do núcleo. A parte indutiva de tal parte da máquina elétrica é decorrente de efeitos magnéticos, como esperado, no caso, o efeito de histerese do material ferromagnético e saturação são chamadas perdas histeréticas. Conta-se também a perda de potência útil transferida a gasta para orientar os domínios magnéticos do próprio meio do circuito magnético, a chamada corrente de magnetização. Com isso, obtém-se a parte indutiva do modelo de circuito de transformador. Portanto tais elementos são fundamentais para a parametrização de qualquer projeto de trafos.

ressalta-se que, também, a variação de Φ induz uma corrente, que por sua vez também gera um campo magnético reativo ao primeiro, o que também contribui para queda na transferência de potência do primário para o secundário.

Construtivamente, os trafos de forma geral, porém, em especial os utilizados em subestações possuem algumas variáveis de projeto em comum:

- Forma dos enrolamentos:
 - Helicoidal
 - Contínua
- Quantidade de colunas:
 - 3 colunas (envolvido)
 - 5 colunas (envolvente)
- Orientação dos grãos, laminação e transposição de chapas, assim como composição química da liga

A forma que é feito o resfriamento do trafo também é uma variável importante na parametrização do mesmo, haja visto, por exemplo, os efeitos da temperatura no equipamento, que podem ser do tipo: aumento nas perdas resistivas por conta da elevada temperatura, desmagnetização de partes dos domínios decorrente de elevadas temperaturas. O próprio isolamento dielétrico fica comprometido por questões térmicas, haja visto, por exemplo a “variação da constante” dielétrica do meio envolvente no núcleo banhado a óleo por variações térmicas que aumentam ou diminuem a concentração de gases diluídos no mesmo, o que varia a permissividade dielétrica, podendo gerar curtos em níveis de tensão de operação esperados.

Nesse sentido, os sistemas mais utilizados de resfriamento nas subestações envolvem óleo interno que permeia os enrolamentos e colunas ferromagnéticas, e ar ou água externos. Além disso, são possíveis mecanismos auxiliares que forcem a convecção dos dissipadores térmicos, gerando algumas configurações de resfriamento: ON-AN, OF-AN, ON-AF, OF-AF, OF-WF. Onde: “O = Oil”, “A= Air”, “W = Water”, “N = Natural”, “F = Forced”.

A Figura 1 mostra as letras que formam configurações de resfriamento:

Natureza do meio de resfriamento	Símbolo
Óleo	O
Líquido isolante sintético não-inflamável	L
Gás	G
Água	W
Ar	A
Natureza da circulação	Símbolo
Natural	N
Forçada (no caso de óleo, fluxo não dirigido)	F
Forçada com fluxo de óleo dirigido ⁽⁴⁾	D

Primeira letra	Segunda letra	Terceira letra	Quarta letra
Indicativa do meio de resfriamento em contato com os enrolamentos		Indicativa do meio de resfriamento em contato com o sistema de resfriamento externo	
Natureza do meio de resfriamento	Natureza da circulação	Natureza do meio de resfriamento	Natureza da circulação

Figura 1: Sistema de letras para configurações de resfriamento

Considerando também a necessidade de se prevenir arcos elétricos há a preocupação de se isolar os materiais, sendo que, para tal função normalmente pode ser utilizado a isolação por “papel específico”, usualmente uma forma semelhante à celulose estruturada de forma que garanta isolamento elétrico satisfatório.

IV. Funcionamento

Como já fora apontado anteriormente, o transformador é uma máquina elétrica cuja função mais fundamental é transferir potência elétrica, de modo seguir uma equação (para um modelo ideal de primeiro momento):

$$V1 * I1 = V2 * I2$$

E as subestações aproveitam-se de altas tensões para transmitir uma corrente reduzida, mantendo o fluxo de potência. Sendo que a relação de transformação determinam as tensões e correntes, pela seguinte equação:

$$\frac{N1}{N2} = \frac{V1}{V2}$$

A relação N1/N2 é chamada relação de transformação e normalmente é atribuída a uma variável “a”.

As impedâncias dos enrolamentos e do núcleo são definidas por ensaios em vazio e em curto circuito, e considerando que os fabricantes possuem o domínio sobre informações como o número de espiras ou a composição da liga metálica do núcleo ferromagnético há boas estimativas desses modelos.

V. Ligações trifásicas

É possível demonstrar que a forma mais econômica e eficiente de transmitir energia, considerando potência transferida e quantidade de cabos utilizados no circuito, a ligação trifásica é a mais recomendada. Tanto que domina a geração, transmissão, distribuição e mesmo uso da energia (em escala industrial, por exemplo). E, nesse sentido, os trafos

necessitam estar em conexões trifásicas para poder operar no sistema elétrico.

As ligações nos ramos finais do sistema de distribuição, ou seja, do poste para o cliente (de nível residencial ou de pequeno consumidor) as principais ligações trifásicas são de 13,8 kV/220-127 V nas configurações Delta - Estrela aterrada, respectivamente no lado de alta e baixa. E 13,8 kV/220-110 V nas configurações Estrela aterrada - Delta com terra acessível, respectivamente no lado de alta e baixa.

Já no contexto de subestações há uma série de ligações, inclusive envolvendo enrolamentos terciários - responsáveis por eliminar harmônicas de componentes simétricas, ou seja, atuando na qualidade de energia. São elas destacadas na Figura 1.

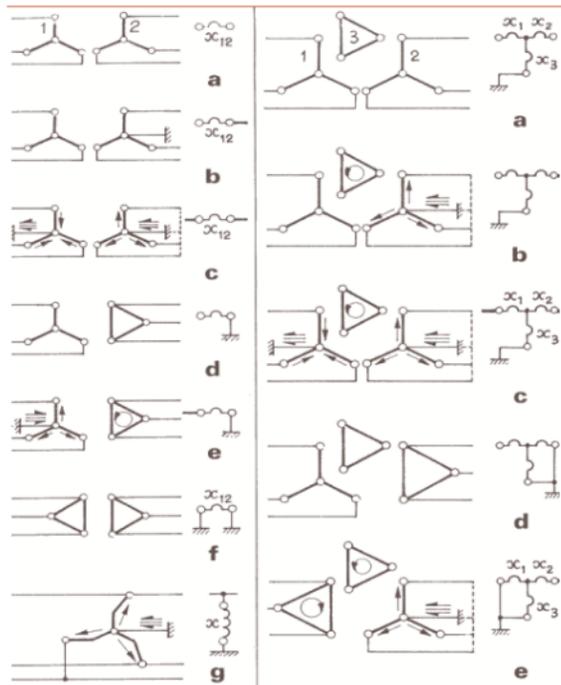


Figura 2: Configurações de ligações trifásicas de transformadores de potência em subestações.

Além das configurações trifásicas, ressalta-se na próxima seção uma ligação de trafo “especial”, chamada de autotransformador.

VI. Autotransformador

O Autotransformador é uma configuração de transformador, ou seja é uma forma de arranjo na ligação de um transformador convencional que garante exclusivamente a essa formação propriedades específicas.

Nesse contexto, o enrolamento primário e secundário partem de um mesmo contato elétrico, sendo, então, uma bobina com pelo menos três saídas. E a relação de transformação “a” é expressa em termos da proporção de espiradas relacionadas a essas saídas da bobina. Há autôtrofos de elevação e redução da tensão a depender de como são ligados.

Comparando com um trafo convencional, pode-se estabelecer vantagens e desvantagens para adoção do mesmo. São algumas delas:

- Vantagens:
 - Maior relação potência/volume
 - Maior rendimento
 - Menor regulação em carga
- Desvantagens:
 - Perda do isolamento galvânico
 - Maior corrente de curto, levando a uma menor impedância de curto (em pu)

A Figura 2 ilustra um exemplo de um autotrafo elevador de tensão:

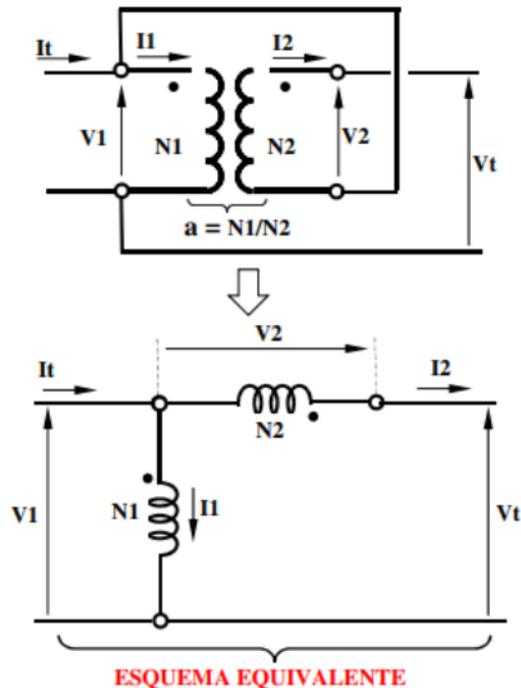


Figura 3: Autotrafo elevador com circuito equivalente desprezando perdas

VII. Ensaios

Os trafos precisam passar por ensaios que verifiquem suas características e capacidades de operação. Já citados os ensaios de curto e em vazio são os mais apresentados, porém são especificados uma série de ensaio, dos quais alguns são destacados:

- Ensaio de rotina:
 - Resistência elétrica dos enrolamentos (verificar se não há irregularidades nos enrolamentos, contatos, soldas, etc)
 - Relação de tensões (verificar se não há irregularidades nos enrolamentos quanto ao número de espiras.)
 - Polaridade (verificar se o sentido dos enrolamentos está correto)
 - Deslocamento angular e sequência de fase (verificar se a conexão dos enrolamentos está correta de acordo com o diagrama fasorial.)

- Perdas em vazio e em carga (verificar perdas no ferro e corrente de magnetização do núcleo.)
- Corrente de excitação
- Impedância de curto-circuito
- Ensaio dielétricos
- Ensaio de tipo (para os transformadores a óleo):
 - Ensaio de elevação de temperatura
 - Ensaio dielétricos de tipo
 - Ensaio de óleo isolante para transformadores de tensão nominal inferior a 72,5 kV
- Ensaio especiais:
 - Ensaio de ruído
 - Ensaio de curto circuito
 - Ensaio ambiental
 - Ensaio de comportamento ao fogo
 - Ensaio climático

Os ensaios são previstos por normas garantindo padronização nos ensaios e nos trafos que se submetem aos mesmos, essencial para a interligação de sistemas elétricos distintos.

VIII. Parametrização em sistemas elétricos de potência

Em geral, quando no contexto de transmissão e distribuição, os transformadores de potência são parametrizados a partir de algumas demandas, destacando-se:

- Corrente de carga
- Tensões de operação
- Frequência
- Variáveis climáticas e geográficas
- Demanda em termos de potência (considerando crescimento vegetativo)
- Derivações de carga (TAP changers)

Considerando tais variáveis se estabelece a melhor configuração de transformadores que atendam às demandas. Além disso, faz-se um estudo de crescimento vegetativo a fim de atender às mesmas e todas demandas em um longo período futuro. Há relatos de transformadores de potência com cerca de 70 anos de operação.

IX. Pontos adicionais

Vale ressaltar alguns pontos adicionais. Dentre eles, os equipamentos que auxiliam na operação do transformador de

potência, como outros transformadores (TCs e TPs), reatores, capacitores, IEDs, Para-Raios, entre outros elementos que suportam toda a operação na subestação.

Além disso, outro ponto interessante de ser mencionado é a logística envolvida em transformadores dessa natureza, pois desde a produção até instalação, e mesmo a realização de ensaios envolve um processo delicado de logística, haja visto as dimensões e peso da máquina elétrica, exigindo diferentes modais, e operações extremamente peculiares. Pode-se citar o transporte de um transformador pelo maior avião comercial do mundo, o Antonov, ou o transporte marítimo de transformadores. Casos mais complexos, como a reposição que houve no Amapá e o uso de modais rodoviários, mesmo com grandes limitações, mostrou-se viável na ocasião para alguns processos.

X. Conclusão

Ao fim da exposição do tema, houve o esclarecimento de informações desde as mais rotineiras, como o funcionamento e aspectos construtivos da máquina elétrica, assim como a exemplificação da rotina de operação da máquina em um sistema elétrico de potência. Bem como se trouxe notório algumas informações mais ligadas ao âmbito de empresas fornecedoras.

XI. Bibliografia

1. Sérgio O Frontin .INOVAEQ pg 190-210
2. BR 5356
3. ELECTRIC MACHINERY FUNDAMENTALS
- S. J. Chapman – Ed. McGraw-Hill – 1991

Grupo#3

RELATÓRIO DE ORIGINALIDADE

6% ÍNDICE DE SEMELHANÇA	6% FONTES DA INTERNET	1% PUBLICAÇÕES	0% DOCUMENTOS DOS ALUNOS
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------	------------------------------------

FONTES PRIMÁRIAS

1	docplayer.com.br Fonte da Internet	5%
2	Firat Ekinci. "An experimental determination of the optimum cooling model for dry-type transformers for different cooling configurations", Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2020 Publicação	1%
3	www.abolsamia.pt Fonte da Internet	1%

Excluir citações
Excluir bibliografia

Desligado
Desligado

Excluir correspondências

Desligado